

# Experimental Analysis on Current Impact Injecting into a Cathodic Protection System

## Analyse Expérimentale sur l'Impact de Courant Injecter dans un Système de Protection Cathodique

Kaim Khattab<sup>1</sup>, El Bahi Azzag<sup>2</sup>, Khairedine Allali<sup>3</sup>, Abdelaziz Lekhel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Electromechanical Engineering laboratory, Faculty of Engineering Science, Electromechanical Department–Badji Mokhtar University Annaba, Algeria,

<sup>2</sup> Electrotechnis laboratory, Faculty of Engineering Science, Electrotechnics Department, Badji Mokhtar University-Annaba, Algeria,

<sup>3</sup> Laboratory Engineering of Transport and Environment, Faculty of Technology Sciences, Transports Engineering Department, Mentouri Brothers University Constantine-1 Constantine, Algeria,

<sup>4</sup> Department of Mechanical Engineering, Mohamed Chérif Messaadia University -Souk-Ahras, 41000, Algeria,

Corresponding: [karimkhattab21@gmail.com](mailto:karimkhattab21@gmail.com)

### ABSTRACT

Technical-economic development, led the gas market to Polyethylene. Today, experience confirms this choice and the optimization of the technique ensures its guarantee. But the steel gas distribution networks still exist and their replacement by polyethylene requires a fairly large budget and the requirement is to replace the copper networks before the steel whose first corrode steel, as well as the steel has a cathodic protection system that keeps this material immunity. It was noted that when a structure is subjected to cathodic protection by imposed current, and in the case of poor distribution of current and potential, it may result in a failure of pa The aim of this modest analysis is to dedicate a permanent control of the change in current according to the various physical parameters in order to ensure the supply of gas under the best conditions of safety, and quality of service. This review consists of studying and checking these network parameters from the point of view of length and surface, and recalculating the current injected through this network while taking into account the value of the insulation resistance and the current density, taking into account the length of the anodic weir.

### Keyword:

Cathodic Protection, Polarization Potential, Over-Current, Steel, Detachment, Coating Surface, Density, Insulation Resistance.

### RESUME

Le développement technico-économique, a conduit le marché du gaz vers le Polyéthylène. Aujourd'hui, l'expérience confirme ce choix et l'optimisation de la technique assure sa garantie. Mais les réseaux de distribution gaz en acier existe encore et leur remplacement par le polyéthylène demande un budget assez important, et l'exigence consiste à remplacer les réseaux en cuivre avant l'acier dont le premier corrode ce dernier ,ainsi que l'acier dispose d'un système de protection cathodique qui maintenir ce matériau en état d'immunité .Il a été remarqué que lorsqu' une structure est soumise à une protection cathodique par courant imposé ,et dans le cas d'une mauvaise distribution du courant et du potentiel, celle-ci risque d'entraîner un défaillance au niveau de la protection passive . Cette modeste analyse a pour but de consacrer un contrôle permanent de variation du courant en fonction des plusieurs paramètres physiques afin d'assurer la fourniture du gaz dans les meilleures conditions de sécurité, et de qualité de service. Ce revue consiste à étudier et de vérifier ces paramètres de réseau de point de vue longueur et surface, et de recalculer le courant injecté à travers ce réseau tout en prend en considération la valeur de la résistance d'isolement et la densité du courant en tenant compte la longueur de déversoir anodique.

### Mots Clés:

Protection Cathodique, Potentiel de polarisation, Surintensité du courant, Acier, Décollement, Surface de Revêtement, Densité, Résistance d'isolement

## 1. INTRODUCTION

La protection cathodique des ouvrages enterrés tel que du pétrole et du gaz parmi les techniques pertinentes de lutte contre le phénomène de corrosion, Cette protection est assurée par une combinaison de protection passive ou mécanique si l'ouvrage est bien isolé au milieu extérieur, cependant l'hétérogénéité de sol provoque des différences de potentiels qui engendre un déplacement des électrons. La protection cathodique maîtrise ce déplacement.

L'application de la technique de protection cathodique a pour but de diminuer la vitesse de corrosion du métal telle qu'elle devienne négligeable eu égard à sa durabilité nécessaire [1]. Pour éviter un décollement cathodique du revêtement, la norme NF EN 14161 : 2004 dicte « *qu'il convient que le potentiel de protection au niveau de l'interface métal / milieu ne soit pas plus négatif que  $-1,15V/Cu/CuSO_4$  (une électrode de référence basée sur le potentiel redox du couple  $Cu/Cu^{2+}$  utilisée en pratique sur le terrain). Des valeurs plus négatives sont acceptables à condition qu'il soit démontré que l'endommagement dû à la fragilisation par hydrogène ne peut avoir lieu* ». D'après Shepherd [2]. Alors [3] a développé en collaboration avec des établissements des armements et navals un logiciel très performant pour l'évaluer l'efficacité du système de la protection cathodique dans n'importe quel électrolyte. Cependant par des raisons de sécurité [4] à fixer l'intervalle de potentiel entre - 1.0 volt et - 1.5 volt que soit le type de revêtements.

Il est important de noter que la surprotection cathodique (le potentiel ou le courant de protection excessif) est nuisible, car il peut conduire au décollement du l'écran protecteur suite au phénomène de dégagement d'hydrogène. Le phénomène de découlement du revêtement protecteur est bien observé dans les réseaux de distribution de gaz en Acier que dans les pipelines de transport de pétrole ou de gaz car dans le premier est soumis à des variations des paramètres physiques (surface revêtue et longueur de plusieurs diamètres), cette variation est suite des travaux de rénovation de réseau de

distribution par le polyéthylène qui y par conséquent un changement (diminution) de la surface à protéger, chose que nous avons observés au niveau de quelque structure de distribution par manque de coordination entre l'exécuteur de ces travaux de rénovation et le service de la protection, c'est ce que en discutera ultérieurement. Ainsi la surintensité de courant provoque la détérioration des joints isolant de type (Prochind) aux points de piquage de cuivre sur l'acier (le cuivre est un matériau plus noble que l'acier alors il s'en corrode ce dernier).

Ce papier est inspiré par une analyse expérimentale, ainsi il traite un phénomène très important concernant la fiabilité des systèmes de la protection cathodique surtout dans les réseaux de distribution de gaz par l'analyses de ces paramétrés électriques qui se rends néfaste en l'absence de contrôle périodique et des personnels qualifiants.

## 2. PROBLEMATIQUE ET DIAGNOSTIC

Dans les réseaux de distribution de gaz en acier, il y a toujours une tendance de chercher des solutions à rendre la protection cathodique a son état de fiabilité et disponibilité, afin d'empêcher le déséquilibre de ces paramètres électrique, car cela a l'inconvénient de s'entraîner des dégâts assez importants que ce soit en sou-polarisation ou sur polarisation.

Ce revue est basé sur une observation expérimentale lors l'étude des performances de la protection cathodique dans un réseau de distribution de gaz en acier, et de mettre en évidence les principaux paramètres à calculés.

### 2.1 CRITERES DE BASE DU CALCUL

Le but d'installer un système de la P.C est de Permettre à maintenir le potentiel du métal / sol en dessous de - 850 mV. Le potentiel maximal à prendre en compte pour des raisons de sécurité est fixé à (- 1000 jusqu' à -1500 mV) quel que soit le type de revêtement. Un calcul préliminaire de

quelques paramètres est nécessaire pour aboutir à déterminer l'influence du changement de physique sur la partie en acier de réseau. La section suivante traite essentiellement ces calculs.

### 2.1.1 RESISTIVITE DE SOL

L'agressivité des sols, évaluée en fonction de la résistivité, elle est déterminée par la méthode des quatre piquets le long de la structure avec, la résistivité du sol peut être estimée à une valeur moyenne, qui est donnée par l'équation de Winner ci-dessous

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot V}{I} = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (1)$$

On admet généralement pour l'acier les valeurs de résistivité mentionnées dans le tableau (1) ci-dessous. Ces valeurs étant définies comme garantie d'isolement après la pose, elles sont prises en compte pour le calcul de dimensionnement de la protection cathodique dans les réseaux de distribution en Acier

TABLEAU 1  
RELATION RESISTIVITE /RESISTANCE D'ISOLEMENT

Résistivité Electrolyte $\Omega \cdot m$	Taux Agressivité	Composition Electrolyte	Résistance d'isolement $\Omega \cdot m^2$
$0 < \rho < 10$	Très Agressif	Inondé/ Argileux	3000
$10 < \rho < 20$	Agressif	Argileux	5000
$20 < \rho < 50$	Peu Agressif	Agricole	7000
$50 < \rho < 100$	Moyen Agressif	Limoneux Légèrement Sableux	9000
$\rho > 100$	Non Agressif	Calcaires ou sables sec	12000

### 2.1.2 COURANT DE PROTECTION

Les besoins en courant de protection sont calculés sur la densité de courant nécessaire à un abaissement suffisant du potentiel à l'extrémité de la conduite.

$$I_x = i \cdot S = i \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L \quad (2)$$

$I_x$  : Courant de protection du tronçon, calculé pour chaque diamètre en Ampère,

$i$  : Densité de courant en mA/m<sup>2</sup>, calculée par la formule :

$$i = \frac{E_{rep} - E_{prot}}{R_{is}} \quad (3)$$

$E_{rep}$  : Potentiel de la conduite au repos (sans protection) = (-0,75) ou (-0,4V) (Cu/CuSO<sub>4</sub>),

$E_{prot}$  : Potentiel seuil de la conduite sous protection = (-1V) (Cu/CuSO<sub>4</sub>),

$R_{is}$  : Résistance estimée par le tableau (01)

$D_{ext}$  : Diamètre extérieure du tube,

$L$  : Longueur du tube

### 2.1.3 COEFFICIENT D'ATTENUATION

Autrement appelé Constante de distribution du potentiel, ce paramètre s'exprimant en [1/m], il traduit l'abaissement du potentiel le long d'un bras de

$$\alpha = \sqrt{\frac{r}{R}} \quad (4)$$

Avec :

Résistance longitudinale de la conduite $r$ [ $\Omega \cdot m^{-1}$ ]	$r = \frac{\rho_a}{\pi \cdot D_{ext} \cdot e}$
Résistance transversale de la conduite $R$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$R = \frac{R_{is}}{\pi \cdot D_{ext}}$

Ce coefficient varie de 1 à  $20 \times 10^{-1}$ , il est inversement proportionnel à la valeur d'isolement, plus la valeur d'isolement est importante plus le  $\alpha$  est faible et plus la portée de soutirage est importante

### 2.1.4 POTENTIEL NATUREL DE L'ACIER

Un potentiel naturel (spontané) moyen de -550 mV par rapport à une électrode de référence au Cu/CuSO<sub>4</sub> a été estimé comme donnée de base de calcul en tout point de la conduite (valeur généralement admise par expérience). Lors d'une mesure off (sans protection/ou au repos).

Il est considéré qu'une canalisation sous protection cathodique est protégée lorsqu'un abaissement de potentiel de 300 mV est atteint et que le potentiel de polarisation (sans énergie) est au minimum à -850 mV par rapport à une électrode de référence au Cu/CuSO<sub>4</sub>. Le dimensionnement de la SPC est donc basé sur un abaissement théorique de 300 mV et un potentiel à l'extrémité de la portée (sans énergie) de -950 mV par rapport à une électrode de référence au Cu/CuSO<sub>4</sub>.

NB : La mesure de ce potentiel est assurée par un électrode de référence de type cuivre sulfate de cuivre,

cet électrode forme une pile avec le sol pour mesurer le potentiel entre le sol et la conduite à protéger à l'aide d'un voltmètre, la présente figure (1) indique le principe de mesure.

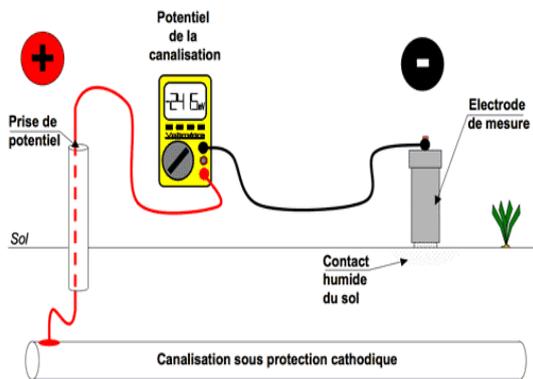


Figure 1.  
Mesure de Potentiel par Electrode de Référence

### 3. ANALYSE DES RESULTATS (CAS REEL)

Ces résultats est obtenues lors d'une étude expérimental d'un réseau de distribution de gaz en Acier de la commune d'Azzaba (wilaya de Skikda).Ce réseau à travers ces dernières années a reconnu plusieurs changements et modification de point de vue la longueur et/ou le diamètre de réseau comme illustré dans le tableau (2) suivant [5] :

TABLEAU 2  
CHANGEMENT DUE DE RESEAU EN ACIER –AZZABA-

Diamètre Acier (mm)	Longueur en 2010 (ml)	Longueur en 2018 (ml)
50	11350	6320
80	3813	3424
100	420	1020
150	922	910
200	00	00
<b>Longueur Total (ml)</b>	<b>16505</b>	<b>11674</b>
<b>Surface Total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>3305,92</b>	<b>2601,24</b>

Dans l'histogramme de la figure (2), et après la vérification des schémas et plans d'actions de l'exploitation, il est facile de déterminer la surface à protéger (tableau.2) avec une diminution de la longueur et de la surface à protéger suite des travaux de remplacement par le polyéthylène.

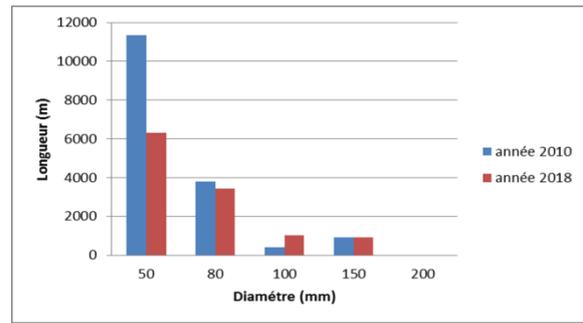


Figure 2.  
Changement des Paramètres Physiques Pendant 08 ans

Cependant, le changement de la longueur totale du réseau en acier (de différents diamètres) est bien observés (diminution de la longueur) et c'est y n'est pas prise en considération par les exploitants.

Le calcul de la surface à protéger est donné par la formule suivante:

$$I = i \cdot S_T = i \cdot \pi \cdot \sum_{i=1} D_{exti} \cdot L_i \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

Après l'application des équations (2),(3)et (5) des éléments électriques de la protection cathodique on prendre en compte les paramètres physiques de réseau d'Azzaba et la valeur de courant débité par le poste de soutirage qui varie entre [2.50A et 2.65 A] ajuster par les personnels chargés de la protection cathodique Les résultats sont récapitulés dans le tableau (3) :

TABLEAU 3  
VERIFICATION DE LA P.C PAR LE COURANT DEBITE

Résultats Retenus avec I= 2,65 A		
Surface S <sub>T</sub> (m <sup>2</sup> )	3305,92	2601,24
Densité i (mA/m <sup>2</sup> )	0,80	1,01
Résistance R <sub>is</sub> (Ω.m <sup>2</sup> )	750	594

### 4. DISCUSSION DES RESULTATS

D'après le tableau (3), l'application de la valeur de courant de poste redresseur nous donne les résultats suivants :

- Valeur calculée de i ne correspond pas à la densité du courant qui y normalement ne dépasse pas 0.6 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier nu dans le sol
- Valeur de R<sub>is</sub> obtenue correspondent au réseau de canalisation enterrée avec revêtement très dégradé (500 ≤ R<sub>is</sub> ≤ 1000)

Expérimentalement, et après l'ouverture des fouilles (suite incidents), il est remarquable que l'état de revêtement de l'acier dans les plus mauvais points est de type C [6] qui correspond à une valeur de  $R_{is} = 12000 \Omega \cdot m^2$ , chose qui nous permet de recalculer les nouveaux paramètres électriques.

D'après l'équation (3), avec  $E_{prot} = -1000 \text{ mV}$ , et  $E_{rep} = -400 \text{ mV}$

$$i = \frac{E_{rep} - E_{prot}}{R_{is}} = \frac{600}{12000} = 0.00050 \text{ A} = 0.50 \text{ mA}$$

Soit :  $I = i \cdot S_T = 0.0005 \times 2601.24 = 1.30 \text{ A}$ , d'après l'équation (2) ou (4).

Cependant, le système de la protection cathodique ne reprend pas son efficacité que par le redimensionnement de déversoir anodique de type Rail SNTF.

Le déversoir a été remplacé en 2009 avec une longueur de 45 ml, soit un poids de 2250 kg (1 mètre de rail pèse 50kg).

D'après la loi de **Faraday**, qui nous permet de connaître la consommation de la masse des différents métaux, cette consommation est proportionnelle à la quantité de courant traversant les électrodes. Pour l'acier la consommation est de 9,15 kg/A. ans.

Le tableau (4) résume les résultats de déversoir, et on rappelle que la consommation

$$P = 9.15 \cdot I \cdot t \quad (5)$$

Avec  $t$  la durée de vie de rail pendant 15 ans et par mesure de sécurité on multipliant par 2 et  $I$  le courant de protection traversant le rail

TABLEAU 4  
COMPARAISON ENTRE CONSOMMATION DU DEVERSOIR

Courant I (A)	2,65	1,30
Consommation du Rail (kg)	727,42	356,85
longueur de rail (ml)	15,54	7,13

D'après le tableau (4), il est bien observé que un déversoir anodique de 20 mètre pèse 1000kg > 356,85 est retenue pour le soutirage

Après ces calculs et démonstrations, on résulte :

1-La perturbation de systèmes de la protection cathodique de la zone d'Azzaba est bien remarquable comme est montré dans la figure(3). Une perturbation de courbe causée par la mauvaise régulation de la valeur de courant par les exploitants. au lieu de chercher le tronçon défectueux (abaissement de potentiel), il augmente progressivement le courant par la rhéostat de transformateur-redresseur.

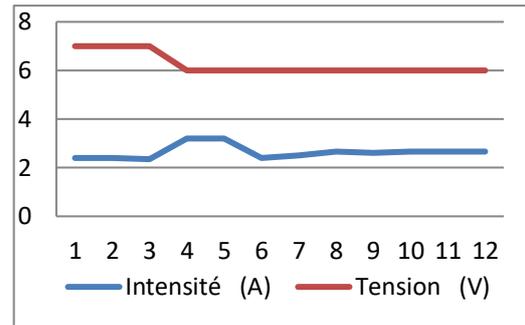


Figure 3

Perturbation du Courant de Protection Pendant l'Année 2017

2-Le nombre des incidents sur le système suite des défauts origine de surintensité de courant tel que la déconnection des câbles des prises potentiels et déversoir anodique (figure 4), et l'éclatement des joints de transition Acier/cuivre.



Figure 4

Arrachement du Câble de la liaison Rail/ Redresseur-Skikda 2018-3-Décollement de de l'écran protecteur qui assure la protection passive et la circulation des électrons (figure 5)



Figure 5

Décollement de l'Ecran Protecteur -Skikda 2016-

**NB : les photos sont des droits réservés à l'Auteur.** Malgré la valeur du courant n'est pas assez grande mais ses effets sur la protection est bien remarquable. Ce qui nous a permis de conclure que la valeur du courant initialement débité par le poste (2 A à 2.65 A) n'est pas bien déterminé. Refaire le calcul suite à ces

conclusions reste la meilleure solution pour bien exploiter le réseau et surtout dans un environnement certain. Pour ce faire il a fallu de reprendre les calculs et les validés par de nouvelles mesures provisoires

## 5. PERSPECTIVES

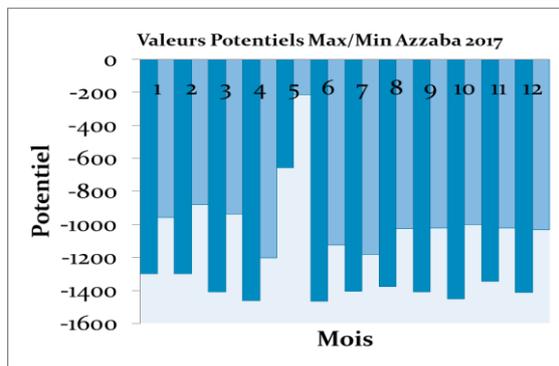


Figure 6

Chute de Potentiel au-Dessous de la Zone d'Immunité

Dans les prochaines rencontres, nous présentera un travail suite d'incident de défaillance d'un système de la protection cathodique, origine par des Tavaux de soudure sur un ouvrage enterré en Acier, qui nécessitera une quinzaine de jours pour la détection des points défaillant avec une technique de recherche de défauts. L'histogramme ci-dessous (figure 6) montra le chute de potentiel dans le mois de Mai (valeur Max et Min).

La Méthode DCVG [7] est parmi les techniques pertinentes de recherche et détection des défauts de la protection cathodique. la figure (7) ci-après montre le principe de la méthode.

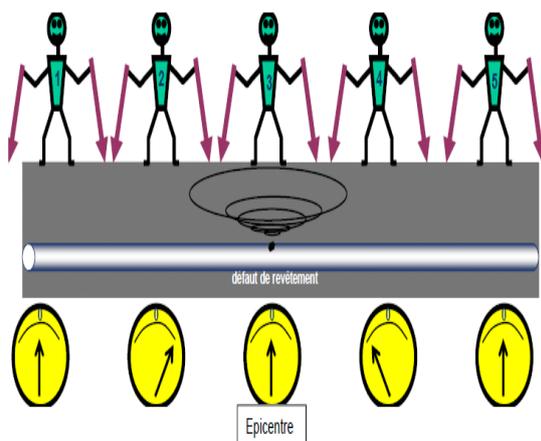


Figure 7

Principe de la Méthode DCVG

## 6. CONCLUSION

Ce papier traite un sujet très important sur les plans techniques et sécuritaires des personnes et des biens de la société de distribution de gaz, et reste un guide et référence pour les agents exploitants des énergies gaziers.

Notre travail a montré que la valeur de courant débité par le poste de soutirage (redresseur) varie selon la longueur et la surface a protégé, et non seulement ces deux facteurs, il est influencé par la résistivité de l'électrolyte (sol). Aussi d'autres paramètres entre en jeu tel que les différentes résistances impliquées (terre, d'isolement, et déversoir). Ainsi le dimensionnement du déversoir joue un rôle très important dans la détermination du courant en fonction de qualité de revêtement.

Si la structure à protéger possède un revêtement en très bon état, les injections de courant doivent être très brèves et de très faibles intensités (typiquement quelques mA). L'exigence est inverse si la structure à contrôler possède un revêtement très dégradé, car cela nécessitera de créer un déversoir anodique capable de générer un courant important.

La protection cathodique semble plus simple dans son emploi, mais la maîtrise de ses paramètres électriques demande une grande délicatesse et beaucoup de précaution. C'est est une méthode très pertinente pour lutte contre la corrosion, cependant, il faut respecter un certain nombre de règles d'installation, alors il est nécessaire de faire appel à des spécialistes et des personnels qualifiants.

## REFERENCES

- [1] J G. Béranger, H. Mazille " Corrosion et Anticorrosion, *Pratique Industrielle* ", Hermès Science Publication, Paris, 2002.
- [2] W. Shepherd, "Pipe & Pipelines International ", 1987, pp.18.
- [3] Les Solution Logiciels, Edition 2019. [Online]. Available: [www.cetim.fr](http://www.cetim.fr), accessed.,jan,5,2019.
- [4] E.P.I.C, SONELGAZ, "Journée Technique sur La Méthodologie de Calcul des Réseaux", Alger, 2001.
- [5] A.Lakehal, k.khattab, R.Harouz,"Application Of Ishikawa Diagram for Faults Analysis on Cathodic Protection of Gas Network", ICEE,Skikda,Algeria,Nov.21-22,2018.(ISBN:978-9931-9447-4-4).
- [6] Y.Frank, r. Norsworthy,"Pipline Coastings",Nace Edition,(ISBN978-1-5759-335-4),2017,pp.95-102.
- [7] PCRA 002," Recommandations pour la recherche après enfouissement et la réparation des défauts du revêtement des canalisations enterrées", Oct.2002.